

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 943 805 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
22.09.1999 Patentblatt 1999/38

(51) Int. Cl.⁶: F04C 15/04, F04D 29/66

(21) Anmeldenummer: 98810237.2

(22) Anmeldetag: 19.03.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: Bucher, Peter
4412 Nuglar (CH)

(74) Vertreter: Sulzer Management AG
KS/Patente/0007
Zürcherstrasse 14
8401 Winterthur (CH)

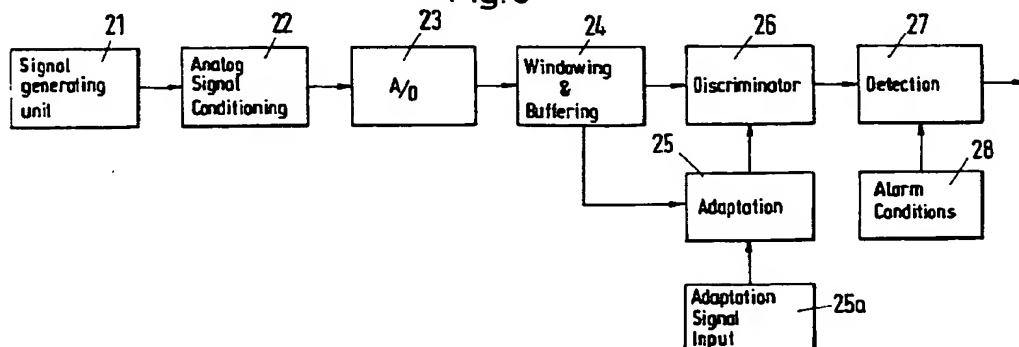
(71) Anmelder:
Maschinenfabrik Sulzer-Burckhardt AG
4002 Basel (CH)

(54) Verfahren und Sensor zur Detektion von Kavitationen, sowie Vorrichtung enthaltend einen solchen Sensor

(57) Bei einem Verfahren zum Detektieren von Kavitationen in einem zu überwachenden Raum, wird der zu überwachende Raum mittels eines lernfähigen Sensors (2) überwacht. Dabei wird zunächst während eines Lernvorgangs für die Dauer eines ersten Zeitintervalls (t₁) ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t₁) wird für die Dauer eines zweiten Zeitintervalls (t₂) ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall keine Kavitationen auftreten. In jedem der beiden Zeitintervalle lernt der Sensor (2),

welche Signale Kavitationen bzw. welche Signale Nicht-Kavitationen in dem zu überwachenden Raum entsprechen. Nach dem Abschluss dieses Lernvorgangs vergleicht der Sensor die im Betrieb in dem zu überwachenden Raum auftretenden Signale mit den gelernten Signalen für die Kavitation bzw. die Nicht-Kavitation und entscheidet aufgrund vorgegebener Kriterien, ob in dem zu überwachenden Raum eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und erzeugt ein entsprechendes Ausgangssignal.

Fig. 6



EP 0 943 805 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und einen Sensor zur Detektion von Kavitationen gemäss dem jeweiligen unabhängigen Patentanspruch, sowie eine Vorrichtung enthaltend einen solchen Sensor.

[0002] Unter einer Kavitation versteht man eine plötzliche Hohlraumbildung, wie sie beispielsweise dann auftreten kann, wenn bei Flüssigkeitsringvakuumpumpen - das sind Pumpen, die sich einer Flüssigkeit als Hilfsmedium zur Erzeugung eines Vakuums bedienen - die zuvor verdampfte Flüssigkeit sehr schnell bzw. sogar schlagartig kondensiert. Bei derartigen Flüssigkeitspumpen entsteht durch eine solche Kavitation ein mechanischer Stoss bzw. Schlag auf die Schaufel bzw. Schaufeln des Schaufelrads, zwischen denen sich das Gas befindet. Dies hat bei jeder Kavitation eine mehr oder weniger kleine Verletzung der Schaufeln zur Folge, wodurch mit der Zeit das Schaufelrad und somit die Pumpe unbrauchbar wird.

[0003] Oft ist es nun bei industriellen Anwendungen so, dass die Pumpen sich an einem Ort befinden, wo sie nicht ohne weiteres ständig daraufhin überwacht werden können, ob und wie häufig solche Kavitationen auftreten. Darüberhinaus erzeugen die Pumpen beim Betrieb auch ein gewisses Betriebsgeräusch (auch ohne dass Kavitationen auftreten), welches mitunter recht erheblich sein kann, sodass es selbst bei einer Überwachung der Pumpe durch Operationspersonal schwer sein kann, zu erkennen, ob und in welcher Häufigkeit nun solche Kavitationen auftreten.

[0004] Da andererseits Kavitationen mit der Zeit zu Schäden an der Pumpe führen können, wie oben bereits erläutert, sollen solche Kavitationen vermieden werden oder zumindest detektiert werden, damit entsprechende Massnahmen getroffen werden können (z.B. Betriebsparameter verändert werden können), um ein ständiges Auftreten solcher Kavitationen zu verhindern.

[0005] Verfahrensmässig wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, wie es durch die Merkmale des unabhängigen Verfahrensanspruchs charakterisiert ist. Bei dem erfindungsgemässen Verfahren wird der zu überwachende Raum mittels eines lernfähigen Sensors überwacht. Dabei wird mindestens einmal (danach kann eine Abspeicherung erfolgen) während eines Lernvorgangs für die Dauer eines ersten Zeitintervalls ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls wird für die Dauer eines zweiten Zeitintervalls ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall keine Kavitationen auftreten. In jedem der beiden Zeitintervalle lernt der Sensor, welche Signale Kavitationen bzw. welche Signale Nicht-Kavitationen in dem zu überwachenden Raum entsprechen. Nach dem Abschluss dieses Lernvorgangs untersucht der Sensor die im Betrieb in dem zu überwachenden Raum auftre-

tenden Signale, ob vorgebbare Kriterien, die aus den gelernten Signalen für die Kavitation bzw. Nicht-Kavitation abgeleitet sind, erfüllt sind und entscheidet auf dieser Basis, ob in dem zu überwachenden Raum eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und erzeugt ein entsprechendes Ausgangssignal. Auf diese Weise kann der Sensor zunächst selbst "lernen", was eine Kavitation ist und was nicht (insbesondere lernt er natürlich auch das Betriebsgeräusch ohne Kavitationen kennen) und entscheidet dann nach einer Lernphase, ob Kavitationen auftreten oder nicht. Die Zuverlässigkeit ist dabei ausgesprochen gross. Somit kann die entsprechende Pumpe auch an einem Ort aufgestellt werden, wo nicht ständig eine Überwachung möglich ist. Erkennt der Sensor beim Betrieb der Pumpe, dass Kavitationen auftreten, kann er ggf. einen Alarm auslösen, sodass das Operationspersonal entsprechende Massnahmen treffen kann und eine Beschädigung der Schaufeln und damit der Pumpe vermieden werden kann.

[0006] Dabei kann in einer vorteilhaften Ausgestaltung ein als Drucksensor ausgebildeter Sensor verwendet werden, und es wird der Druck in dem zu überwachenden Raum überwacht. Drucksensoren sind heutzutage in verschiedenen Ausführungen verfügbar und können direkt ein Ausgangssignal liefern, das den Druck repräsentiert. Grundsätzlich kommen aber auch andere Sensoren, wie beispielsweise akustische Sensoren, in Betracht.

[0007] In dem zu überwachenden Raum kann sowohl der absolute Druck als auch die Druckveränderung überwacht werden, insbesondere natürlich beides. Dies ist speziell für den Einlernvorgang von Vorteil, weil dieser dann wie folgt ablaufen kann. Beim Einlernvorgang kann zunächst in dem zu überwachenden Raum ein Druckabfall erzeugt werden, der grösser ist als ein vorgegebener Mindestdruckabfall. Sodann wird beim Unterschreiten bzw. Erreichen eines vorgebbaren Drucks, bei welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten, der Sensor für das erste Zeitintervall getriggert. Der Sensor "lernt" nun in diesem ersten Zeitintervall, was eine Kavitation ist. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls wird wieder ein Druckanstieg erzeugt, der grösser oder gleich ist wie ein vorgegebener Mindestdruckanstieg, und der Sensor wird für das zweite Zeitintervall getriggert, sobald der Mindestdruckanstieg erreicht oder überschritten wird und ein vorgegebener Druck erreicht oder überschritten wird. Der Sensor "lernt" dann in diesem zweiten Zeitintervall, was eine "Nicht-Kavitation" ist. Nach dieser Einlernphase kann dann der Betrieb der Pumpe erfolgen.

[0008] In einer Weiterbildung dieser Variante wird der Sensor beim Einlernvorgang für das erste Zeitintervall erst dann getriggert, wenn der weitere Abfall des Drucks kleiner ist als ein vorgegebener Schwellenwert. Es wird also gewartet, bis der Druckabfall praktisch abgeschlossen ist. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls wird der Sensor für das zweite Zeitintervall dann getriggert, wenn der Anstieg des Drucks grösser ist als

ein vorgebbare Schwellenwert. Da vorzugsweise mit niedrigen Dampfdrücken gearbeitet wird, liegt bei einem entsprechend grossen Druckanstieg der Druck praktisch sofort oberhalb des Dampfdrucks (und es treten in jedem Fall keine Kavitationen auf).

[0009] In einer vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemässen Verfahrens legt der Sensor für verschiedene Kriterien fest, wie hoch bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Kavitation aufgetreten ist, und dass anschliessend aufgrund sämtlicher Kriterien und der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Sensor entscheidet, ob eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und das entsprechende Ausgangssignal erzeugt. Solche Sensoren setzen typischerweise die Prinzipien der "Fuzzy-Logic" ein.

[0010] Die Aufgabe wird auch mittels eines lernfähigen Sensors gelöst. Dabei wird in dem zu überwachenden Raum zunächst während eines Einlernvorgangs für die Dauer eines ersten Zeitintervalls ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten. In diesem ersten Zeitintervall lernt der Sensor, was eine Kavitation ist. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls wird in dem zu überwachenden Raum für die Dauer eines zweiten Zeitintervalls ein Zustand hergestellt, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall keine Kavitationen auftreten. In diesem zweiten Zeitintervall lernt der Sensor, was eine "Nicht-Kavitation" ist. Der Sensor umfasst nun Mittel, die in jedem der beiden Zeitintervalle die Signale speichern, welche den Kavitationen bzw. den Nicht-Kavitationen in dem zu überwachenden Raum entsprechen. Ferner umfasst der Sensor Mittel, welche die im Betrieb in dem zu überwachenden Raum auftretenden Signale daraufhin untersuchen, ob vorgebbare Kriterien, die aus den gelernten Signalen für die Kavitation bzw. Nicht-Kavitation abgeleitet sind, erfüllt sind sowie Mittel, die auf dieser Basis entscheiden, ob in dem zu überwachenden Raum eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und die dann ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugen. Mit einem solchen Sensor lässt sich eine Pumpe mit hoher Zuverlässigkeit überwachen, auch wenn nicht ständig Operationspersonal vor Ort sein kann. Treten Kavitationen auf, so kann ggf. aufgrund des Sensorausgangssignals ein Alarm ausgelöst werden, sodass das Operationspersonal Massnahmen treffen kann, die eine Beschädigung der Schaufeln und damit der Pumpe verhindern.

[0011] In einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel weist der Sensor Mittel zur Bestimmung des Drucks in dem zu überwachenden Raum auf, er ist also als Drucksensor ausgebildet. In einer Weiterbildung weist er sowohl Mittel zur Bestimmung des Drucks als auch der Druckveränderung in dem zu überwachenden Raum auf, insbesondere von beidem, was speziell für den Einlernvorgang von Vorteil sein kann. Dabei kann die Änderung des Drucks entweder mittels Differenzbildung von aufeinanderfolgenden Messwerten des absoluten Drucks bestimmt werden, oder es können separate Mit-

tel vorgesehen sein, die eine direkte Messung der Druckveränderung ermöglichen.

[0012] Gemäss einer Weiterbildung weist der Sensor Mittel zum Triggern auf, die beim Einlernvorgang den Sensor für das erste Zeitintervall triggern, wenn in dem zu überwachenden Raum ein Druckabfall erzeugt wird, der grösser ist als ein vorgebbare Mindestdruckabfall und wenn ein vorgebbare Druck erreicht oder unterschritten wird, bei welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten. In diesem ersten Zeitintervall lernt der Sensor dann, was eine Kavitation ist und speichert die entsprechenden Signale ab. Ferner umfasst der Sensor Mittel, die den Sensor nach Abschluss des ersten Zeitintervalls für das zweite Zeitintervall triggern, sobald ein Druckanstieg erzeugt wird, der grösser oder gleich ist wie ein vorgebbare Mindestdruckanstieg und sobald ein vorgebbare Mindestdruck erreicht oder überschritten wird. Der Sensor lernt in diesem Zeitintervall, was eine Nicht-Kavitation ist und speichert die entsprechenden Signale ab.

[0013] In einer Weiterbildung bewirken beim Einlernvorgang die Mittel zum Triggern des Sensors eine Triggerung des Sensors für das erste Zeitintervall erst dann, wenn der weitere Druckabfall kleiner ist als ein vorgebbare Schwellenwert. Mit anderen Worten heisst dies, dass eine Triggerung für das erste Zeitintervall bei praktisch stabilem niedrigen Druck erfolgt. Nach Abschluss des ersten Zeitintervalls triggern die Mittel zum Triggern des Sensors den Sensor für das zweite Zeitintervall, wenn der Druckanstieg grösser ist als ein vorgebbare Schwellenwert. Da vorzugsweise mit niedrigen Dampfdrücken gearbeitet wird, liegt der Druck bei einem entsprechend grossen Druckanstieg praktisch sofort oberhalb des Dampfdrucks.

[0014] Gemäss einem Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst der Sensor Mittel, die für verschiedene Kriterien festlegen, wie hoch bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Kavitation aufgetreten ist, sowie Mittel, die anschliessend aufgrund sämtlicher Kriterien und der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten entscheiden, ob eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und das entsprechende Ausgangssignal erzeugen. Solche Sensoren setzen typischerweise die Prinzipien der "Fuzzy-Logic" ein.

[0015] Gegenstand der Erfindung ist schliesslich noch eine Vorrichtung, insbesondere eine Flüssigkeitsringpumpe, die einen entsprechenden Sensor umfasst.

[0016] Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Flüssigkeitsringpumpe,

Fig. 2 das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 1, wobei der Flüssigkeitsring und der Sensor zum Detektieren von Kavitationen zu erkennen sind,

- Fig. 3 ein Beispiel eines typischen Verlaufs des absoluten Drucks (nur Gleichanteil) während des Einlernvorgangs des Sensors,
- Fig. 4 der Verlauf des absoluten Drucks aus Fig.3, mit der Triggerung des Sensors im Betrieb, also mit eingelerntem Sensor,
- Fig. 5 ein Blockschaltbild der Signalerzeugungseinheit eines Sensors, und
- Fig. 6 ein Blockschaltbild der Art und Weise der Signalauswertung im Sensor.

[0017] In dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel einer Flüssigkeitsringpumpe 1 erkennt man deren Ansaugstutzen 10 und den Ort 11, an welchem ein Drucktransmitter eines Kavitationssensors (nicht dargestellt) im Innern des Ansaugstutzens 10 angeordnet sein kann. Weiterhin erkennt man ein exzentrisch angeordnetes Schaufelrad 12 (strichliert), mit dessen Hilfe ein zu förderndes Gas (z.B. Luft bei einer Vakuumpumpe) durch den Ansaugstutzen 10 und den Ansaugschlitz 100, die miteinander in Verbindung stehen, was aber in Fig. 1 aus zeichnerischen Gründen nicht zu erkennen ist, angesaugt wird. Die Richtung, in welcher das Gas gefördert wird, ist durch die Pfeile G angedeutet. Es ist unmittelbar einleuchtend, dass hierzu das Schaufelrad 12 im Uhrzeigersinn angetrieben werden muss, was z.B. mittels eines (nicht dargestellten) Elektromotors erfolgen kann. Ferner erkennt man in Fig. 1 noch einen Auslassschlitz 130 und einen Auslassstutzen 13, die ebenfalls miteinander in Verbindung stehen, was aber in Fig. 1 aus zeichnerischen Gründen nicht zu erkennen ist. Durch den Auslassschlitz 130 kann das geförderte Gas wieder aus der Pumpe herausgeführt werden.

[0018] Fig. 2 zeigt das Ausführungsbeispiel der Flüssigkeitsringpumpe 1 gemäss Fig. 1, jedoch ist zusätzlich am Ansaugstutzen 10 der Sensor 2 zum Detektieren von Kavitationen zu erkennen. Ausserdem ist schematisch auch der Ringflüssigkeitsraum R zu erkennen, der konzentrisch zum Pumpengehäuse angeordnet ist und mit einer schraffiert dargestellten Flüssigkeit F gefüllt ist. Bezüglich dieses Ringflüssigkeitsraums R ist das Schaufelrad 12 exzentrisch angeordnet. Auch der Ansaugschlitz 100 sowie der Auslassschlitz 130 sind in Fig. 2 angedeutet, um die Funktionsweise einer solchen Pumpe besser erläutern zu können. Ferner ist noch eine Öffnung O für die Ringflüssigkeit F angedeutet. Es muss nämlich - wie noch erläutert werden wird - ständig neue Flüssigkeit F zugeführt werden und erwärmte Flüssigkeit F abgeführt werden.

[0019] Die prinzipielle Funktionsweise einer solchen Pumpe, die insbesondere als Vakuumpumpe betrieben werden kann, ist nun wie folgt (siehe Fig. 2): Durch das Drehen des Schaufelrads 12 im Uhrzeigersinn wird das

zu fördernde Gas (im Falle der Vakuumpumpe z.B. die Luft aus dem zu evakuierenden Raum) durch den Ansaugstutzen 10 und den Ansaugschlitz 100 in den Raum 120 zwischen der Nabe 121 und den Schaufeln 122 des Schaufelrades eingesaugt. Ist der Bereich des Ansaugschlitzes 100 überstrichen, so ist das zu fördernde Gas in diesem Raum 120 eingeschlossen. Wegen der exzentrischen Anordnung des Schaufelrades 12 in Bezug auf den Ringflüssigkeitsraum R wird dieser Raum 120 in der Aufwärtsbewegung in Richtung auf den Auslassschlitz 130 zu immer kleiner. Dadurch wird das in dem Raum 120 befindliche Gas komprimiert und erwärmt sich und auch die Flüssigkeit F. Erreicht der Raum 120 den Bereich des Auslassschlitzes 130, so kann das komprimierte (erwärmte) Gas durch den Auslassschlitz 130 entweichen.

[0020] Wird nun der Druck in dem Raum 120 niedriger als der Dampfdruck der Flüssigkeit F, weil aus dem zu evakuierenden Raum praktisch keine Luft mehr angesaugt wird, dann kann bei der Zunahme des Volumens des Raums 120 in der Abwärtsbewegung des Schaufelrads 12 Flüssigkeit F in den Raum 120 hinein verdampfen. Wird dann das Gas in der Aufwärtsbewegung wieder komprimiert, weil das Volumen des Raums 120 wieder abnimmt, so kondensiert das Gas schlagartig an den verhältnismässig kalten Flächen der Schaufeln 122 des Schaufelrads 12 - es kommt zu den bereits erwähnten Kavitationen. Im Vakuumbetrieb werden daher Flüssigkeiten mit niedrigem Dampfdruck gewählt, weil dadurch die Güte des Vakuums verbessert wird.

[0021] Zur Detektion solcher Kavitationen ist der Sensor 2 vorgesehen. Dabei handelt es sich um einen sogenannten "lernfähigen" Sensor. Das heisst, dem Sensor 2 wird zunächst in einem Einlernvorgang beigebracht, was eigentlich (signalmässig) einer Kavitation entspricht, und was nicht. Hierzu muss natürlich ein Zustand hergestellt werden, in welchem auf jeden Fall Kavitationen auftreten. In diesem Zustand muss der Sensor 2 "lernen", was eine Kavitation ist. Der Sensor 2 muss auch lernen, was eine "Nicht-Kavitation" ist, damit er in der Lage ist, Kavitationen von sonstigen Störgeräuschen zu unterscheiden (wie z.B. Strömungsgeräusche, Motorgeräusche, etc.). Dies erfolgt in einem Einlernvorgang, wie er im folgenden anhand von Fig. 3 beschrieben wird.

[0022] In Fig. 3 ist der Verlauf des absoluten Drucks p (Gleichanteil) über der Zeit t während des Einlernvorgangs in Form einer Kurve 3 dargestellt. Diese weist zunächst einen horizontalen Verlauf 30 mit einem Pegel H1 auf, der Druck p (Gleichanteil) ist also im wesentlichen konstant. Nun wird ein Druckabfall erzeugt, der in der Kurve 3 der abfallenden Flanke 31 entspricht. Detektiert der Sensor 2 einen solchen Druckabfall, der grösser ist als ein vorgegebener Mindestdruckabfall, das heisst stellt der Sensor 2 fest, dass innerhalb eines Zeitraums Δt der Druck p (Gleichanteil) um einen Wert fällt, der grösser ist als ein vorgegebener Mindestdruckabfall, so weiss er, dass nun gleich ein

Zeitintervall folgt, in welchem er lernen wird, was Kavitationen sind und ein weiteres Zeitintervall, in welchem er lernen wird, was "Nicht-Kavitationen" sind.

[0023] Die Triggerung des Sensors 2 für das erste Zeitintervall t1, in welchem der Sensor lernt, was eine Kavitation (signalmässig) ist, erfolgt nun derart, dass zuerst abgewartet wird, bis der Druckpegel einerseits unterhalb des Pegels LO liegt und andererseits bis der weitere Druckabfall kleiner ist als ein vorgebbare Schwellenwert. Ist der weitere Druckabfall kleiner als dieser Schwellenwert (dies ist im Bereich des "Knicks" am unteren Ende der Flanke 31 der Fall, der genau genommen eben kein scharfer Knick, sondern ein gekrümmter Übergang ist) so kann entweder noch eine kurze, festgelegte Zeit zugewartet werden oder die Triggerung kann sofort erfolgen. Der Druck p (Gleichanteil) ist in dem Bereich 32, der in Fig. 3 horizontal verläuft, in etwa konstant und es kommt bei diesem Druckpegel in jedem Fall zu Kavitationen (Wechselanteil).

[0024] Während des ersten Zeitintervalls t1 speichern hierfür im Sensor 2 vorgesehene Mittel die Signale, die den Kavitationen entsprechen. Bei diesen Signalen handelt es sich um den Wechselanteil des Drucks (in Fig. 3 nicht dargestellt), der für eine bestimmbar Anzahl von Zeitfenstern, die alle innerhalb des ersten Zeitintervalls t1 hintereinander liegen, aufgezeichnet und gespeichert wird. Bei der Aufzeichnung bzw. Speicherung werden beispielsweise die Signalanteile im Frequenzbereich von 500-4000 Hz berücksichtigt.

[0025] Ist das Zeitintervall t1 abgeschlossen, so wird abgewartet, bis wieder ein Mindestanstieg des Drucks p (Gleichanteil) erfolgt. Da typischerweise bei niedrigem Dampfdruck gearbeitet wird, liegt der Pegel des Drucks p (Gleichanteil) bei einem vorgegebenen Mindestdruckanstieg praktisch sofort wieder oberhalb des Dampfdrucks und es treten keine Kavitationen mehr auf. Beim Erkennen dieses Mindestdruckanstiegs wird daher der Sensor 2 für ein zweites Zeitintervall t2 getriggert. In diesem zweiten Zeitintervall t2 erfolgen keine Kavitationen, und die im Sensor 2 vorgesehenen Mittel speichern die Signale, die einer "Nicht-Kavitation" entsprechen.

[0026] Nach erneutem Anstieg des Drucks über die Flanke 33 über den Pegel HI erreicht dann der Pegel des Drucks (Gleichanteil) wieder den ursprünglichen Wert, die Kurve 3 verläuft daher im Bereich 34 wieder horizontal, der Druck (Gleichanteil) bleibt also im wesentlichen konstant. Der Einlernvorgang ist somit abgeschlossen. Die Parameter für die Erkennung, welche Signale nun einer Kavitation entsprechen und welche Signale einer "Nicht-Kavitation", können dann abgespeichert werden, sodass bei der nächsten Aufnahme des Betriebs kein neues Einlernen des Sensors mehr erfolgen muss. Selbstverständlich kann jedoch ein solcher Lernvorgang auch erneut durchgeführt werden.

[0027] In Fig. 4 ist der gleiche Signalverlauf wie in Fig. 3 gezeigt, wobei hier aber ein Betriebszustand der Pumpe angenommen worden ist. Zur Vereinfachung

wurde ein gleicher Verlauf des Drucks (Gleichanteil) wie in Fig. 3 angenommen. Die Triggerung des Sensors 2 erfolgt im Betrieb nur, wenn der Pegel des Drucks (Gleichanteil) unterhalb des Pegels LO liegt. Dies ist eine notwendige - aber nicht hinreichende - Bedingung für das Auftreten von Kavitationen. Ist der Sensor im Betrieb getriggert, so erfolgt eine Überwachung mit Hilfe des Sensors 2 so lange (Zeitintervall t3), bis der Pegel des Drucks (Gleichanteil) wieder oberhalb von LO liegt. Ist dies der Fall, so können sicher keine Kavitationen auftreten und die Überwachung durch den Sensor wird wieder eingestellt, bis der Pegel des Drucks (Gleichanteil) erneut unter LO fällt. Die Bedingung, dass zum Triggern im Betrieb der Pegel des Drucks (Gleichanteil) unter dem Pegel LO liegt, ist insofern von Bedeutung, als auch während des normalen Betriebs, also in einem Pegelbereich des Drucks (Gleichanteil), in welchem sicher keine Kavitationen auftreten können, Störgeräusche (z.B. Strömungsgeräusche, Motorgeräusche, etc.) auftreten können, die sonst möglicherweise vom Sensor als Kavitation erkannt werden könnten.

[0028] Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild einer Signalerzeugungseinheit 21 des Sensors 2. Dort erfolgt die Auftrennung des von einem Transmitter 210 gelieferten Signals in einer Weiche ("Switch") 211. Die beiden Ausgangssignalzweige für die Absolutdruckdetektion ("Pressure Detection") 212 und für die Kavitationsdetektion ("Cavitation Detection") 213 folgen auf die Ausgänge der Weiche 211. Bei der Absolutdruckdetektion 212 wird der Gleichanteil des Drucks berücksichtigt, während bei der Kavitationsdetektion 213 der Wechselanteil des Drucks berücksichtigt wird, beispielsweise in dem bereits genannten Frequenzbereich von 500-4000 Hz.

[0029] In Fig. 6 schliesslich ist in einem Blockschaltbild die Art und Weise der Signalverarbeitung im Sensor 2 dargestellt. Das von der Signalerzeugungseinheit ("Signal generating unit") 21 (siehe Fig. 5) kommende kontinuierliche Signal wird in einer Signalaufbereitungsstufe ("Analog Signal Conditioning") 22 aufbereitet und anschliessend einem Analog/Digitalwandler 23 ("A/D") zugeführt. Dessen Ausgangssignal gelangt zu einer Fenstervorgabe- und Speicherstufe 24 ("Windowing & Buffering"), in welcher die Dauer und Anzahl der Zeitfenster festgelegt werden, in denen das Ausgangssignal des A/D-Wandlers tatsächlich gespeichert und weiterverarbeitet wird. Über eine Adaptionsstufe 25 ("Adaptation") und eine dazugehörige Eingabeeinheit 25a ("Adaptation Signal Input") kann Einfluss auf die der Fenstervorgabe- und Speicherstufe 24 nachgeschaltete Diskriminatorstufe 26 ("Discriminator") genommen werden. In dieser Diskriminatorstufe 26 wird für verschiedene Kriterien festgelegt, wie gross bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Kavitation aufgetreten ist. Solche Kriterien können beispielsweise, aber nicht ausschliesslich, sein:

- Anzahl der Tangenten mit einer Steigung, die grösser ist als eine vorgegebene Mindeststeigung
- Absolute Grösse der Tangentensteilheit
- Amplitude der Schwankungen des Druckpegels (Wechselanteil)

5

In der Detektionsstufe 27 ("Detection") schliesslich findet eine Gesamtbewertung sämtlicher Kriterien bzw. der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten statt. Dabei kann den einzelnen Kriterien ein unterschiedliches Gewicht zugemessen werden. Die Gesamtbewertung aller Kriterien und der zugehörigen einzelnen Wahrscheinlichkeiten führt schliesslich zu einer Gesamtwahrscheinlichkeit, welche nach Vergleich mit den Vorgaben einer Alarmbedingungsstufe 28 ("Alarm Conditions") dazu führen, dass von der Detektionsstufe 27 entweder ein Alarm ausgelöst wird oder nicht. Derartige Signalauswertungen, bei denen bei der Erfüllung von einzelnen Kriterien ein bestimmtes Ereignis mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeiten eingetreten ist, basieren typischerweise auf den Prinzipien der Fuzzy-Logic.

10

15

20

[0030] Wie bereits erwähnt ist eine solche Vorrichtung besonders geeignet für den Einsatz als Vakuumpumpe. Die Güte des erreichbaren Vakuums wird dabei durch den Dampfdruck der Flüssigkeit F im Flüssigkeitsringraum F bestimmt. Erwähnt werden soll an dieser Stelle noch, dass sich die Vorrichtung natürlich auch für solche Einsatzzwecke eignet, bei denen in dem zu überwachenden Raum Explosionsgefahr besteht. In einem solchen Fall kann der Sensor so ausgebildet werden, dass der Drucktransmitter im explosionsgefährdeten Bereich angeordnet ist, der Rest des Sensors jedoch ausserhalb des explosionsgefährdeten Bereichs. Speziell für den Einsatz in der chemisch/pharmazeutischen Industrie kann dies von besonderem Interesse sein.

25

30

35

Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren von Kavitationen in einem zu überwachenden Raum, bei welchem Verfahren der zu überwachende Raum mittels eines lernfähigen Sensors (2) überwacht wird, wobei mindestens einmal während eines Lernvorgangs für die Dauer eines ersten Zeitintervalls (t1) ein Zustand hergestellt wird, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten, nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) für die Dauer eines zweiten Zeitintervalls (t2) ein Zustand hergestellt wird, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall keine Kavitationen auftreten, und wobei in jedem der beiden Zeitintervalle der Sensor (2) lernt, welche Signale Kavitationen bzw. welche Signale Nicht-Kavitationen in dem zu überwachenden Raum entsprechen, und dass nach dem Abschluss dieses Lernvorgangs der Sensor die im Betrieb in dem zu überwachenden Raum auftretenden Signale daraufhin

40

45

50

55

untersucht, ob vorgebbare Kriterien, die aus den gelernten Signalen für die Kavitation bzw. Nicht-Kavitation abgeleitet sind, erfüllt sind und auf dieser Basis entscheidet, ob in dem zu überwachenden Raum eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem ein als Drucksensor ausgebildeter Sensor (2) verwendet wird und der Druck in dem zu überwachenden Raum überwacht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei welchem in dem zu überwachenden Raum sowohl der absolute Druck als auch die Druckveränderung, insbesondere beides, überwacht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem beim Einlernvorgang zunächst in dem zu überwachenden Raum ein Druckabfall (31) erzeugt wird, der grösser ist als ein vorgebbarer Mindestdruckabfall, dass dann beim Unterschreiten bzw. Erreichen eines vorgebbaren Drucks, bei welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten, der Sensor für das erste Zeitintervall (t1) getriggert wird, dass nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) ein Druckanstieg (33) erzeugt wird, der grösser oder gleich ist wie ein vorgebbarer Mindestdruckanstieg, und dass der Sensor (2) für das zweite Zeitintervall (t2) getriggert wird, sobald der Mindestdruckanstieg erreicht oder überschritten wird und ein vorgebbarer Druck (LO) erreicht oder überschritten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass beim Einlernvorgang der Sensor für das erste Zeitintervall (t1) erst dann getriggert wird, wenn der weitere Abfall des Drucks kleiner ist als ein vorgebbarer Schwellenwert, und dass nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) der Sensor (2) für das zweite Zeitintervall (t2) dann getriggert wird, wenn der Anstieg des Drucks grösser ist als ein vorgebbarer Schwellenwert.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem der Sensor für verschiedene Kriterien festlegt, wie hoch bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Kavitation aufgetreten ist, und dass anschliessend aufgrund sämtlicher Kriterien und der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten der Sensor entscheidet, ob eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und das entsprechende Ausgangssignal erzeugt.
7. Lernfähiger Sensor (2) zum Detektieren von Kavitationen in einem zu überwachenden Raum, in welchem Raum zunächst während eines Einlernvorgangs für die Dauer eines ersten Zeitin-

tervals (t1) ein Zustand hergestellt wird, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten, und in welchem Raum nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) für die Dauer eines zweiten Zeitintervalls (t2) ein Zustand hergestellt wird, in welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall keine Kavitationen auftreten, wobei der Sensor Mittel (24) umfasst, die in jedem der beiden Zeitintervalle (t1,t2) die Signale speichern, welche den Kavitationen bzw. den Nicht-Kavitationen in dem zu überwachenden Raum entsprechen, und wobei der Sensor ferner Mittel (26) umfasst, welche die im Betrieb in dem zu überwachenden Raum auftretenden Signale auf die Erfüllung vorgegebbarer Kriterien untersuchen, die aus den gelernten Signalen für die Kavitation bzw. Nicht-Kavitation abgeleitet sind, sowie Mittel (27), die auf dieser Basis entscheiden, ob in dem zu überwachenden Raum eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und die dann ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugen.

8. Sensor nach Anspruch 7, welcher Mittel (21) zur Bestimmung des Drucks in dem zu überwachenden Raum aufweist.
9. Sensor nach Anspruch 8, welcher sowohl Mittel (21) zur Bestimmung des Drucks als auch der Druckveränderung in dem zu überwachenden Raum, insbesondere zur Bestimmung von beidem, aufweist.
10. Sensor nach Anspruch 9, welcher Mittel zum Triggern aufweist, die beim Einlernvorgang den Sensor für das erste Zeitintervall (t1) triggern, wenn in dem zu überwachenden Raum ein Druckabfall (31) erzeugt wird, der grösser ist als ein vorgegebbarer Mindestdruckabfall und wenn ein vorgegebbarer Druck erreicht oder unterschritten wird, bei welchem in dem zu überwachenden Raum auf jeden Fall Kavitationen auftreten, und die den Sensor für das zweite Zeitintervall (t2) triggern, sobald nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) ein Druckanstieg (33) erzeugt wird, der grösser oder gleich ist wie ein vorgegebbarer Mindestdruckanstieg und sobald ein vorgegebbarer Mindestdruck überschritten wird.
11. Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass beim Einlernvorgang die Mittel zum Triggern, die beim Lernvorgang den Sensor für das erste Zeitintervall (t1) triggern, die Triggerung des Sensors erst dann bewirken, wenn der weitere Druckabfall kleiner ist als ein vorgegebbarer Schwellenwert, und dass nach Abschluss des ersten Zeitintervalls (t1) die Mittel zum Triggern den Sensor für das zweite Zeitintervall (t2) dann triggern, wenn der Druckanstieg grösser ist als ein vorgegebbarer

Schwellenwert.

12. Sensor nach einem der Ansprüche 7 bis 11, welcher Mittel (26) umfasst, die für verschiedene Kriterien festlegen, wie hoch bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine Kavitation aufgetreten ist, sowie Mittel (27), die anschliessend aufgrund sämtlicher Kriterien und der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten entscheiden, ob eine Kavitation aufgetreten ist oder nicht und das entsprechende Ausgangssignal erzeugen.
13. Vorrichtung, insbesondere Flüssigkeitsringpumpe (1), enthaltend einen Sensor nach einem der Ansprüche 7 bis 12.

Fig.1

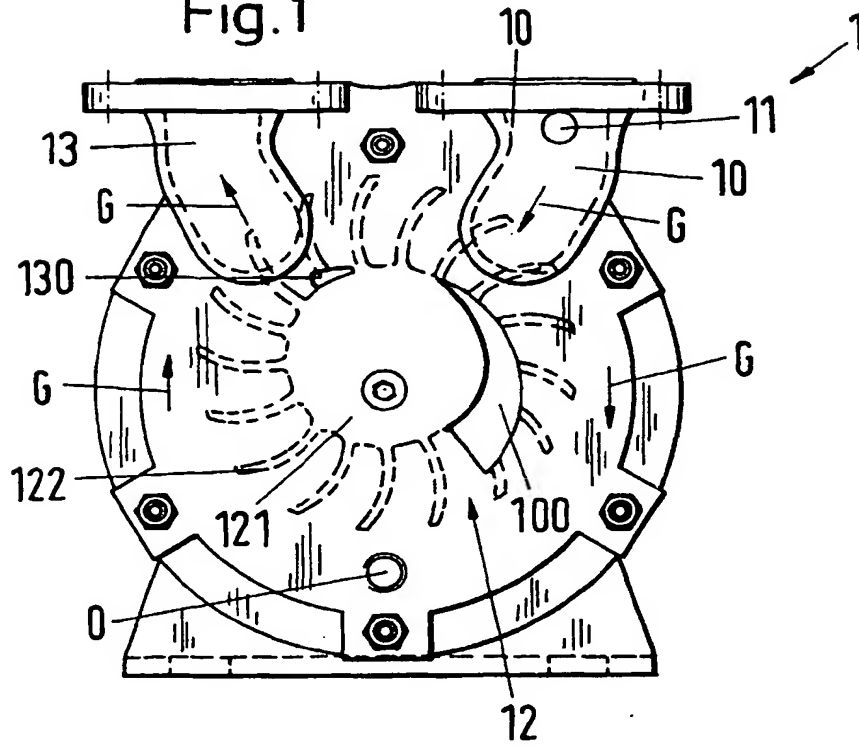


Fig.2

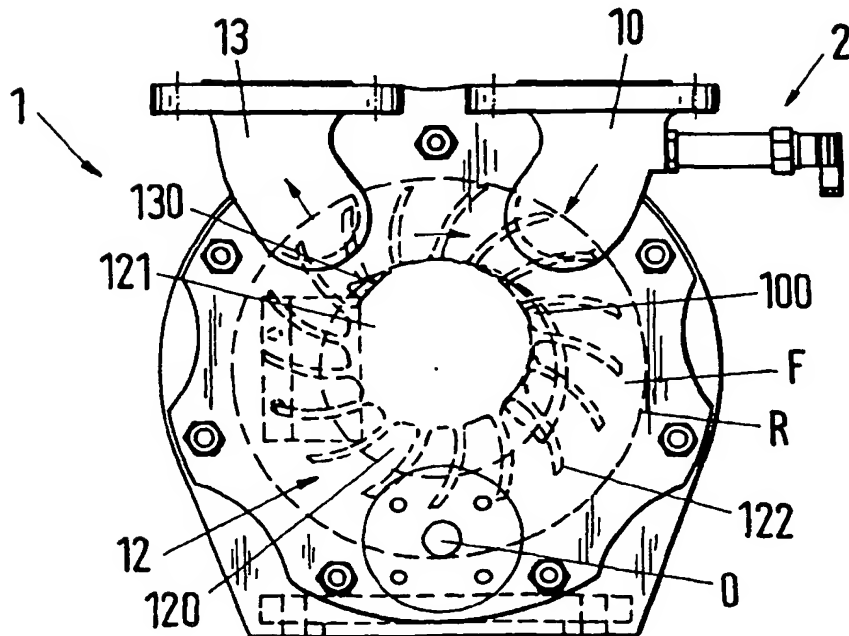


Fig. 3

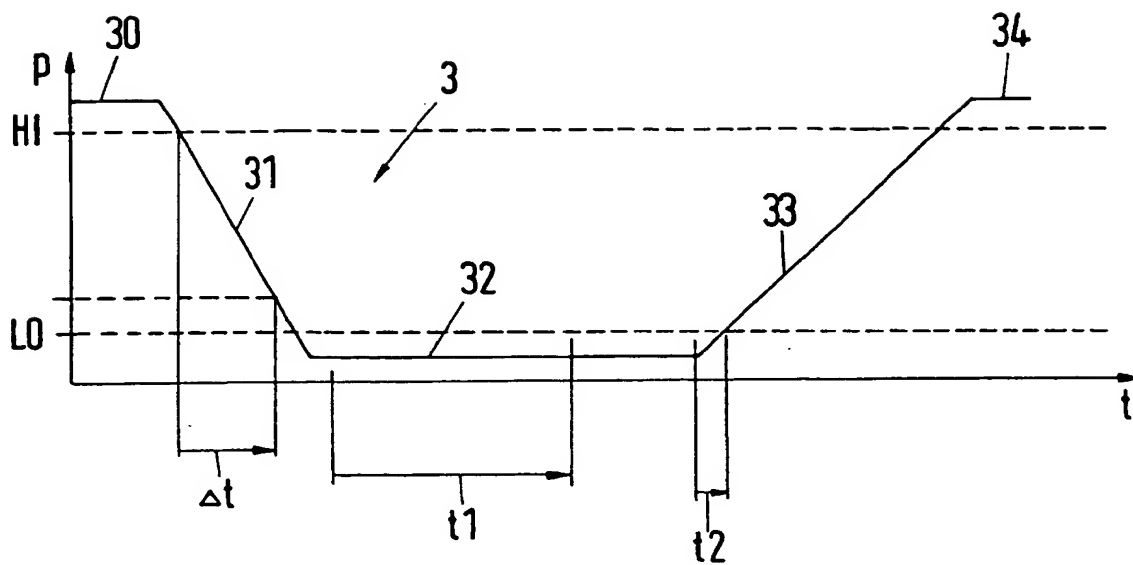


Fig. 4

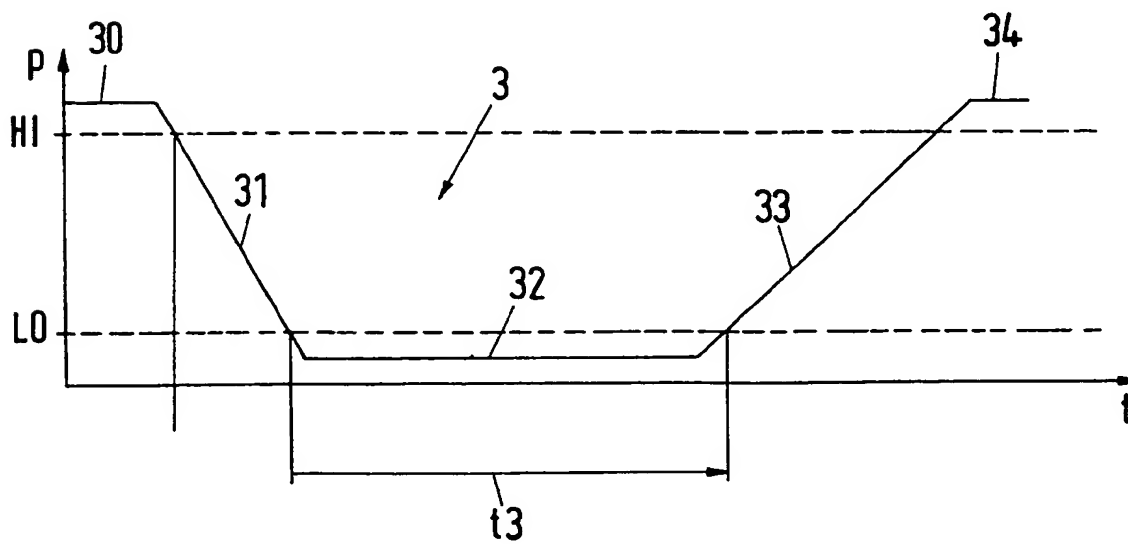


Fig. 6

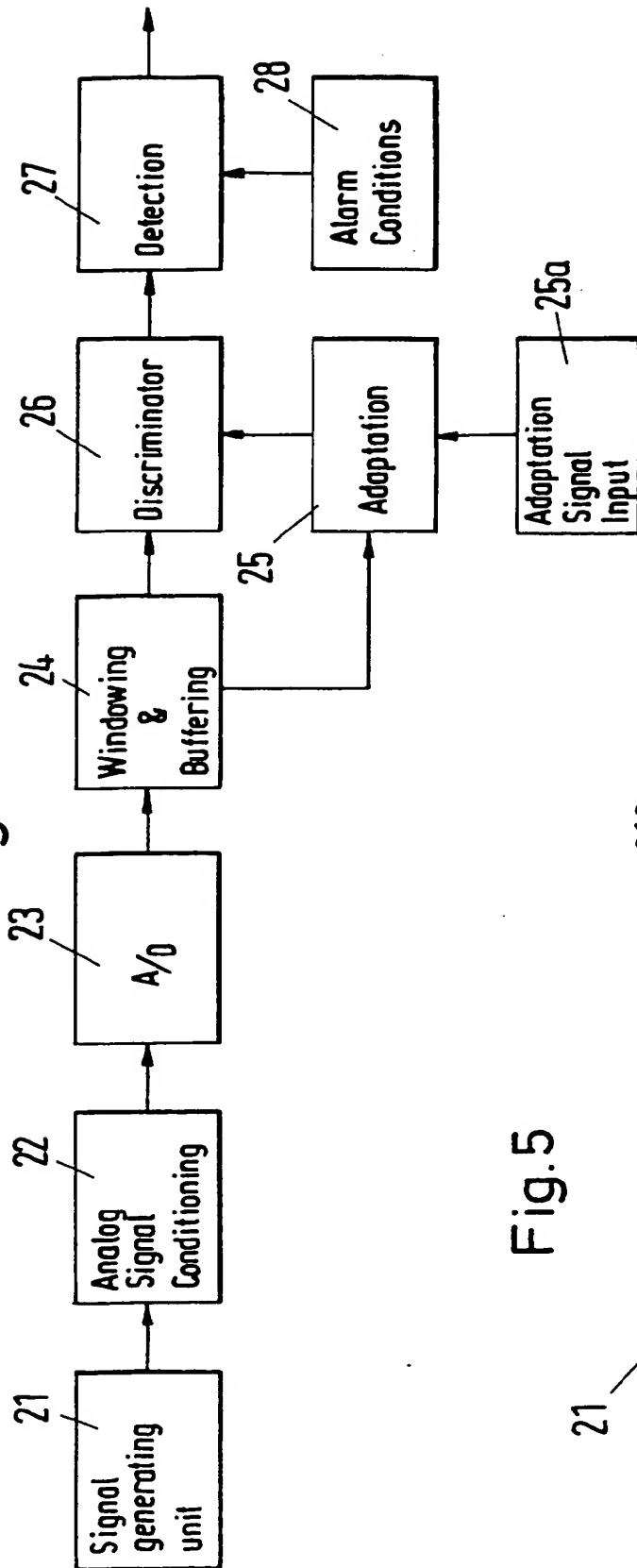
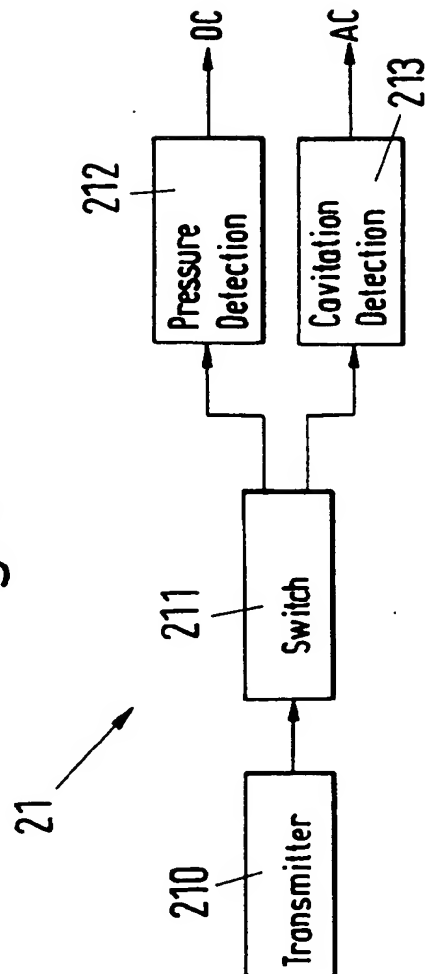


Fig. 5





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 98 81 0237

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	DE 35 20 734 A (KRAFTWERK UNION AG) 11. Dezember 1986 * das ganze Dokument *	1,2,7,8,13	F04C15/04 F04D29/66
A	US 4 608 833 A (KOUNTZ KENNETH J) 2. September 1986 * Zusammenfassung *	1,7	
A	EP 0 321 295 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 21. Juni 1989 * Seite 2. Zeile 16 - Zeile 17 * * Ansprüche *	1,7	
A	EP 0 742 372 A (KLEIN SCHANZLIN & BECKER AG) 13. November 1996		
A	DE 43 00 560 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 22. Juli 1993		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F04C F04D G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 10. August 1998	Prüfer Zidi, K
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument S : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A technologischer Hintergrund O nichttechnische Offenbarung P Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04/C03)

THIS PAGE BLANK (USPTO)